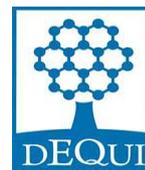




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**Análise da Eficiência Energética em Sistemas de Combustão a Gás Natural**

**Marcela Ferraz Dickow**

**Orientador: Norberto Holz  
Co-Orientador: Oscar W. Perez Lopez**

**Porto Alegre, Dezembro de 2011**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição Média do Gás Natural Boliviano.....	12
Figura 2: Propriedades do Gás Natural Boliviano.....	13
Figura 3: Eficiência na Combustão do Gás Natural.....	20
Figura 4: Volume Médio de Consumo de Gás Natural em 2011 por Segmento no Estado do RS.....	22
Figura 5: Porcentagem do número de clientes industriais distribuídos por tipo de setor de atividade conforme classificação da Petrobrás.....	23
Figura 6: Distribuição do volume consumido de gás natural por setor de atividade industrial.....	24
Figura 7: Medida da temperatura dos gases de combustão através de um pirômetro de contato.....	28
Figura 8: Medida da temperatura de parede através de pirômetro de radiação.....	28
Figura 9: Medição através do analisador de gases.....	29
Figura 10: Distribuição das empresas por setor de atividade industrial.....	32
Figura 11: Porcentagem das empresas visitadas redistribuídas por setor de atividade industrial.....	33
Figura 12: Quantidade de Equipamentos analisados classificados por tipo de equipamento térmico.....	33
Figura 13: Teores de CO <sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do setor de Metal-Mecânica.....	34
Figura 14: Teores de O <sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Metal-Mecânica.....	35
Figura 15: Teores de CO <sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do setor de Alimentos e Bebidas.....	37
Figura 16: Teores de O <sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Alimentos e Bebidas.....	37

Figura 17: Teores de CO <sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do setor de Alimentos e Bebidas.....	39
Figura 18: Teores de O <sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor Outros.....	39
Figura 19: Temperaturas dos Gases de Combustão nos equipamentos avaliados do setor de Metal-Mecânica.....	42
Figura 20: Temperaturas dos Gases de Combustão nos equipamentos avaliados do setor de Alimentos e Bebidas.....	42
Figura 21: Temperaturas dos Gases de Combustão nos equipamentos avaliados do setor Outros.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixa de valores usuais para os teores encontrados no gás de combustão para alguns combustíveis.....	21
Tabela 2: Informações gerais das empresas visitadas.....	31
Tabela 3: Quantidades de CO correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Metal-Mecânica.....	35
Tabela 4: Quantidades de CO correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Alimentos e Bebidas.....	38
Tabela 5: Quantidades de CO correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor Outros.....	40

## LISTA DE SÍMBOLOS

$P$ : potência térmica ou taxa de calor gerado na combustão, J/h

$v$ : vazão de combustível, m<sup>3</sup>/h

$P_c$ : poder calorífico do combustível, J/m<sup>3</sup>

$q$ : taxa de calor absorvida pelo fluido de aquecimento, J/h

$m$ : taxa mássica do fluido de aquecimento do equipamento, kg/h

$C_p$ : calor específico do fluido, J/kg

$T_{ff}$ : temperatura final do fluido de aquecimento, °C

$T_{if}$ : temperatura inicial do fluido de aquecimento, °C

$\eta$ : eficiência na combustão

$Q_{\text{absorvido}}$ : calor absorvido pelo fluido de aquecimento, J

$Q_{\text{gerado}}$ : calor gerado pela combustão, J

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CH<sub>4</sub> - Metano

CTGÁS-ER - Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis

FIERGS - Federação das Indústrias do Estado do RS

GNC – Gás Natural Comprimido

GNV – Gás Natural Veicular

N<sub>2</sub> – Nitrogênio

NO - Monóxido de Nitrogênio

NO<sub>2</sub> – Dióxido de Nitrogênio

NO<sub>x</sub> - Óxidos de Nitrogênio

O<sub>2</sub> - Oxigênio

RS - Rio Grande do Sul

SO<sub>2</sub> - Dióxido de Enxofre

SO<sub>3</sub> - Trióxido de Enxofre

SO<sub>x</sub> - Óxidos de Enxofre

## RESUMO

O trabalho faz uma análise da eficiência energética de sistemas de combustão a gás natural de empresas do ramo industrial localizadas no estado do Rio Grande do Sul utilizando para isso resultados parciais obtidos através da realização do Programa Gás Mais da Sulgás. Para tanto, o trabalho começa fazendo uma revisão sobre o combustível gás natural, sobre a reação de combustão e sobre conceitos que nos permitam avaliar a eficiência de processos de combustão. Depois dessa fundamentação teórica, é feito um breve panorama do gás natural no Estado do Rio Grande do Sul já na parte de metodologia. A metodologia também aborda o Programa Gás Mais, bem como seus objetivos, metas, estrutura de operação e procedimentos adotados pelo programa. Na parte dos resultados, foi feita uma análise geral dos resultados parciais obtidos pelo programa. Essas análises foram feitas, a partir dos resultados parciais obtidos através dos diagnósticos de eficiência energética e de análises que foram realizadas nas empresas durante as visitas do Programa Gás Mais.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	11
2.1. O gás natural.....	11
2.1.1. Exploração de gás natural.....	13
2.1.2. Aplicações e vantagens na utilização de gás natural.....	14
2.2. Combustão.....	15
2.2.1 Combustão completa e incompleta.....	16
2.2.2. Excesso de Ar na Combustão.....	17
2.2.3. Eficiência na combustão.....	18
2.2.4. Análise dos gases de combustão.....	19
2.2.5. Temperatura dos gases de combustão.....	21
2.3 Um panorama geral sobre o gás natural no RS.....	22
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	25
3.1 O Programa Gás Mais.....	25
3.2.1. Procedimentos adotados nas visitas técnicas.....	27
3.2.2. Diagnósticos de eficiência energética.....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
4.1 Informações gerais sobre as empresas visitadas.....	32
4.2 Análises dos gases de combustão.....	35
4.3. Análises da temperatura dos gases de combustão e das condições de isolamento dos equipamentos.....	41
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>6. TRABALHOS FUTUROS</b> .....	46
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a utilização do gás natural para a geração de energia térmica pela indústria no estado do RS apresentou grande crescimento, provavelmente, em função de que o gás natural é uma alternativa energética com inúmeras vantagens em relação a outras fontes de energia utilizadas pela indústria. O gás natural apresenta uma combustão com boa eficiência que gera grande quantidade de energia, proporciona maior segurança para o processo e, além disso, reduz sensivelmente a emissão de poluentes na sua queima. Porém, para aproveitar todos os benefícios que o gás natural pode oferecer nos processos de combustão os equipamentos e sistemas devem estar operando adequadamente, estar em boas condições, entre outros fatores que podem influenciar na eficiência e segurança desses processos.

Neste trabalho é feita uma análise de sistemas de combustão a gás natural de empresas do ramo industrial no estado do Rio Grande do Sul. As informações utilizadas foram obtidas através da realização do Programa Gás Mais da Sulgás que ainda está em andamento, portanto, se trata de um resultado parcial do Programa. O Programa Gás Mais tem o objetivo de promover o uso eficiente e seguro do gás natural em empresas do estado do RS.

O trabalho começa fazendo uma revisão sobre o gás natural onde são abordados aspectos como sua composição, propriedades, exploração, bem como suas aplicações e vantagens. Ainda nessa parte de fundamentação teórica, é feita uma revisão sobre a combustão e de conceitos que permitam fazer uma análise da eficiência de um processo de combustão, tais como: excesso de ar na combustão, análise dos gases de combustão e temperatura dos gases de combustão. No final da fundamentação teórica, é apresentado um panorama geral sobre a utilização do gás natural no estado do Rio Grande do Sul, enfatizando o seu uso na indústria.

A parte referente à metodologia começa com a apresentação do Programa Gás Mais os seus objetivos, metas, método utilizado, estrutura de operação, assim como os procedimentos realizados nas visitas técnicas do programa e seus diagnósticos de eficiência energética.

Finalmente, após a metodologia são apresentados os resultados parciais do Programa propriamente ditos. Primeiro são apresentadas informações gerais sobre os dados que foram utilizados do Programa Gás Mais. Depois, são apresentadas as informações gerais das 31 empresas que são analisadas no trabalho, como, por exemplo, tipo de atividade industrial e equipamentos avaliados pelo programa. As empresas foram divididas em três setores de atividade industrial, de modo a facilitar a análise dos dados devido a grande quantidade de informações. A análise dos resultados foi feita em duas partes uma contém os resultados das análises dos gases de combustão para as empresas avaliadas e a outra contém as medidas das temperaturas de chaminé e as condições de isolamento dos equipamentos que são analisadas juntas. Foi feita uma análise geral, com base nesses três parâmetros, a fim de se avaliar a eficiência energética desses sistemas de combustão a gás natural.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 O gás natural**

O gás natural é um combustível fóssil composto por uma mistura variada de hidrocarbonetos leves e saturados onde o componente presente em maior proporção é o metano. Estão presentes também na sua composição, em quantidades menos expressivas, o etano, o propano, o butano, entre outros hidrocarbonetos mais pesados. Em seu estado bruto, pode apresentar baixos teores de contaminantes como o nitrogênio, dióxido de carbono, água, compostos de enxofre, ácido clorídrico, metanol e impurezas mecânicas. (SILVA et. al.; MONTEIRO e DA SILVA, 2010)

Conforme da Silva et. al. (2010), a presença e a proporção destes elementos vai depender de fatores como a localização do reservatório, do tipo de matéria orgânica ou da mistura que o originou, da geologia do solo e do tipo de rocha onde se encontra o reservatório, entre outros fatores.

O gás natural é encontrado em reservas naturais subterrâneas, formadas por rochas sedimentares porosas isoladas do exterior por extratos impermeáveis que impedem sua passagem para o meio externo. Essas acumulações de gás natural podem estar associadas, ou não a depósitos de petróleo. O gás natural pode ser classificado, em função do teor de petróleo bruto e de gás livre como gás associado e gás não-associado. (DA SILVA et. al., 2010)

O gás associado está dissolvido no óleo ou está sob a forma de uma capa de gás no reservatório, enquanto que o gás não-associado está livre ou em presença de quantidades muito pequenas de óleo. Portanto, quando associado ao petróleo, o gás apresenta maior quantidade de etano, propano, butano e de hidrocarbonetos mais pesados e no estado não-associado apresenta maior quantidade de metano na sua composição. (DA SILVA et. al., 2010)

Os depósitos de gás natural se originaram através da degradação anaeróbia de matéria orgânica que, em eras pré-históricas, acumulava-se nas águas litorâneas dos mares da época. Com o passar dos anos, essa matéria orgânica foi sendo soterrada a grandes profundidades, impedindo o seu

contato com o ar e juntamente com condições de altas temperaturas e pressão, foram sofrendo decomposição, e essas acumulações formaram depósitos de gás natural e de petróleo (MONTEIRO e DA SILVA, 2010).

De com a Lei n. 9478/97 – Lei do Petróleo, o gás natural é definido como:

Gás Natural é a porção do petróleo que existe na fase gasosa ou em solução no óleo, nas condições originais do reservatório, e que permanece no estado gasoso nas condições atmosféricas de pressão e temperatura.

Como encontrado natureza, o gás natural é incolor e inodoro. É um combustível que, quando submetido a um processo de queima, produz grande quantidade de energia. Quando comparado aos demais combustíveis fósseis, o gás natural apresenta várias vantagens em seu processo de combustão, como por exemplo, apresenta uma combustão mais limpa, tem baixa emissão de poluentes, entre outras. Esses fatores tem gerado uma busca, principalmente pela indústria que possui grande necessidade de energia para os seus processos, pela utilização do gás natural o que tem elevado sua importância para a sociedade. (MONTEIRO e DA SILVA, 2010)

De acordo com da Silva et. al. (2010), no estado do Rio Grande do Sul, o gás natural utilizado é originário da Bolívia e este é transportado até o estado pelo gasoduto denominado GASBOL. A composição do gás boliviano, bem como suas propriedades, seguem nas figuras abaixo:

<b>Composição Média em % vol. Gás Natural da Bolívia</b>		
Metano	CH <sub>4</sub>	91,800
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5,580
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,970
Iso-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,030
N-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,020
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,100
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,800
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	1,420

Figura 1. Composição Média do Gás Natural Boliviano.

Fonte: SULGÁS, 2011

Propriedades	Média
Poder Calorífico Superior (Kcal/Nm <sup>3</sup> )	9.958
Poder Calorífico Inferior (Kcal/Nm <sup>3</sup> )	8.993
Densidade Relativa (ar = 1)	0,602
Massa Molecular Aparente (g/mol)	17,367
Relação Gás/Ar (m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	1/9,96
Velocidade de Chama (cm/seg) (H <sub>2</sub> =346cm/seg)	49,4
Limite de Inflamabilidade Superior (% gás no ar)	14,9
Limite de Inflamabilidade Inferior (% gás no ar)	4,8

Figura 2. Propriedades do Gás Natural Boliviano.

Fonte: SULGÁS, 2011

Essas propriedades poderão sofrer variação dependendo do local de extração e do tipo de poço, pois a composição do gás vai ser diferente.

### 2.1.1. Exploração de gás natural

A exploração, que é a primeira etapa da cadeia produtiva do gás natural, é composta por duas etapas. A primeira etapa consiste na pesquisa que é feita através de testes sísmicos nas bacias sedimentares para verificar a presença de rochas reservatórias. Se for detectada a presença do reservatório, procede-se com a segunda etapa onde é feita a perfuração de um poço pioneiro e de poços para a delimitação, com o objetivo de comprovar a existência de gás natural em quantidade suficiente para fins comerciais. Após a comprovação, este reservatório será mapeado. (MONTEIRO e DA SILVA, 2010)

Nos reservatórios que possuem o gás natural associado ao petróleo, a produção de gás é determinada, basicamente, pela produção de óleo. Na maioria das vezes, esse gás é utilizado no próprio processo de produção sendo reinjetado no sistema, a fim de aumentar a recuperação de petróleo do reservatório, processo chamado de “gás lift” ou “reinação”, ou ainda, ele pode ser usado como fonte de energia para a própria unidade de produção. (MONTEIRO e DA SILVA, 2010)

No caso dos reservatórios que contém o gás não-associado, só se justifica produzir o gás natural comercialmente. Um exemplo deste caso é o gás natural proveniente do campo de San Alberto na Bolívia. (MONTEIRO e DA SILVA, 2010)

### **2.1.2. Aplicações e vantagens na utilização de gás natural**

O gás natural pode ser aplicado nos setores industrial, comercial, residencial e de transportes oferecendo um leque diversificado de técnicas e processos de alto desempenho econômico e energético. O seu alto desempenho deve-se aos esforços dos construtores de equipamentos térmicos que procuram tirar proveito das propriedades físico-químicas desse combustível promovendo benefícios e inovações para a indústria. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA/COASE, 1989)

O gás natural pode substituir uma variedade de outros combustíveis tais como a lenha, o carvão, o óleo combustível, o diesel, o GLP, a nafta, entre outros, proporcionando diversos benefícios. (SILVA et. al., 2010)

No setor de transportes pode ser utilizado na substituição do álcool, da gasolina e do diesel, sendo chamado de gás natural veicular. Nas residências e no comércio é utilizado na substituição da energia elétrica e do GLP para o cozimento de alimentos, aquecimento de água e de ambientes. (DA SILVA et. al., 2010)

Na indústria, ele pode ser utilizado tanto como matéria-prima na indústria petroquímica, para fabricação de adubos, amoníaco e outros produtos, quanto ele pode ser usado como fonte de energia calorífica pelo setor industrial, diretamente ou em combinação com outras fontes. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA/COASE, 1989)

O gás natural é de uso simples, apresenta fornecimento contínuo, não tem necessidade de estocagem, sua queima gera grande quantidade de energia e baixa emissão de poluentes. Fornecido sob pressão, o gás não precisa de energia anexa. Esses fatores e outros o tornam uma fonte de

energia mais flexível e segura que outras fontes. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA/COASE, 1989)

Nas indústrias que utilizam muito vapor em seus processos, a cogeração a gás natural é uma solução interessante. Ela consiste em produzir energia elétrica a partir do vapor gerado, promovendo um aproveitamento máximo da energia do combustível, conseqüentemente ela tem-se tornado uma importante aplicação do gás natural na indústria. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA/COASE, 1989)

## 2.2. Combustão

A combustão consiste em uma reação química exotérmica muito rápida entre combustível e oxidante, acompanhada pela liberação de calor para o meio externo. Os elementos presentes nos combustíveis que são responsáveis pela liberação de calor são geralmente o carbono, o hidrogênio e o enxofre. Na maioria das aplicações, o oxidante utilizado é o ar atmosférico. (DE CARVALHO JR. e MCQUAY, 2007)

Conforme Assis et al, a quantidade de calor gerada na combustão vai depender da quantidade de combustível queimado no processo. Portanto, a quantidade de calor gerada por unidade de tempo será diretamente proporcional à vazão de combustível e ao calor liberado pelo combustível por unidade de volume (poder calorífico do combustível), como segue na equação abaixo:

$$P` = v` .Pc \tag{1}$$

Onde  $P`$  é Potência térmica ou taxa de calor gerado (J/h) que é igual a vazão de combustível  $v`$  ( $m^3/h$ ) vezes o poder calorífico do combustível  $Pc$  ( $J/m^3$ ).

Portanto, conhecendo a potência térmica exigida de um equipamento é possível calcular a vazão de combustível necessária para determinado processo de combustão. (DA SILVA et. al., 2010)

Entretanto, no caso de se utilizar caldeiras e outros equipamentos onde se deseja aquecer uma massa de fluido, deve-se saber que nem todo o calor gerado será usado para o aquecimento dessa massa de fluido. Parte desse calor é perdida através dos gases de combustão que carregam grande quantidade de energia para fora do processo e ocorrem também perdas por radiação, entre outros fatores. (DA SILVA et. al., 2010)

O calor absorvido pela massa de fluido pode ser calculado através da seguinte equação:

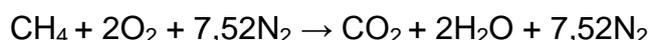
$$q = m \cdot C_p \cdot (T_{ff} - T_{if}) \quad (2)$$

Onde  $q$  é a taxa de calor absorvida pelo fluido de aquecimento (J/h) que é igual à taxa mássica do fluido de aquecimento do equipamento  $m$  (kg/h) multiplicado pelo calor específico do fluido  $C_p$  (J/kg) e pela variação da temperatura do fluido que é a temperatura final do fluido de aquecimento  $T_{ff}$  (°C) menos a temperatura inicial do fluido de aquecimento  $T_{if}$  (°C).

### 2.2.1 Combustão completa e incompleta

Uma combustão considerada completa é uma reação ideal onde todo o carbono é oxidado a dióxido de carbono, todo hidrogênio é utilizado na formação da água e todo enxofre vai formar o dióxido de enxofre. (DE CARVALHO JR. e MCQUAY, 2007)

A reação de combustão completa de metano com o ar atmosférico (% Volumétrico:  $O_2= 21\%$  e  $N_2= 79\%$ ) segue abaixo:

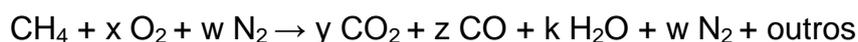


No entanto, esta é uma situação idealizada que não ocorre na prática. Para que fosse possível alcançar uma combustão completa seria necessária uma mistura perfeita entre combustível e comburente, proporcionando o contato e reação da quantidade de moléculas exatamente

igual à estequiométrica e toda a mistura reacional deveria alcançar a temperatura de ignição antes do término da combustão. (DA SILVA et. al., 2010)

Como causas que determinam um processo de combustão imperfeita, podemos citar: a falta de ar, a falta de contato perfeito entre combustível e comburente e a baixa temperatura de combustão. (DA COSTA, 1968)

A reação genérica de combustão incompleta do gás natural com o ar atmosférico segue abaixo:



O principal produto formado na reação de combustão incompleta é o monóxido de carbono. Não se deve trabalhar nessa situação, pois essa reação gera menos calor não aproveitando o calor proveniente da queima do monóxido de carbono, além de gerar este composto que é extremamente perigoso. (DA SILVA et. al., 2010)

### **2.2.2. Excesso de ar na combustão**

O excesso de ar é definido como um percentual acima da quantidade estequiométrica de ar que é quase sempre necessário ser utilizado, em aplicações industriais, para que o processo real de combustão ocorra satisfatoriamente. (CARVALHO JR. e MCQUAY, 2007)

A quantidade de ar de excesso que deve ser utilizada para garantir uma combustão completa vai depender do tipo de combustível, do tipo de equipamento, entre outros fatores. Para o gás natural e queimador tipo registro o excesso de ar deve ficar entre 5 e 10%. (DA SILVA et. al., 2010)

Porém, se o excesso de ar for muito grande, ele irá diluir o gás de combustão provocando o abaixamento da temperatura, diminuindo a eficiência do processo. Além disso, pode contribuir para a formação de compostos como o  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) e  $\text{SO}_x$  ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) que são nocivos para o meio ambiente.

Portanto, o excesso de ar deve ser ajustado a um valor ótimo de modo que garanta a maior eficiência e segurança no processo de combustão. (DA SILVA et. al., 2010)

### 2.2.3. Eficiência na combustão

Segundo da Silva et. al. (2010), para minimizar as perdas de calor e aumentar a eficiência na combustão algumas medidas podem ser tomadas. Essas medidas seguem listadas abaixo:

- Aumentar a troca térmica entre gases da combustão e o produto a ser aquecido.
- Melhorar o isolamento do equipamento.
- Recircular gases de combustão (quando a temperatura desses gases está muito alta).
- Controlar o excesso de ar.

Conhecendo o calor absorvido pelo fluido de aquecimento e o calor gerado no processo de combustão a eficiência pode ser quantificada através da seguinte equação:

$$\eta = Q_{\text{absorvido}} \cdot (Q_{\text{gerado}})^{-1} \quad (3)$$

Onde  $\eta$  é eficiência na combustão que corresponde ao calor absorvido pelo fluido de aquecimento  $Q_{\text{absorvido}}$  (J) dividido pelo calor gerado na combustão  $Q_{\text{gerado}}$  (J).

### 2.2.4. Análise dos gases de combustão

Através da utilização de aparelhos analisadores é possível determinar a composição dos gases de combustão que saem pela chaminé. Com a análise dos gases da combustão, é possível analisar a eficiência do

processo, tanto quantitativamente como qualitativamente. Essas análises fornecem dados que permitem que sejam feitas correções, a fim de se otimizar o processo de combustão que podem ser feitas através de controle automático, ou pela intervenção do homem. (DA SILVA et. al., 2010)

Os principais constituintes do gás de combustão, sendo que a maior parte dos combustíveis é composta por carbono e hidrogênio e que o oxidante é quase sempre o ar atmosférico, são o vapor d'água, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, podendo ocorrer também a formação de óxidos de nitrogênio e de enxofre. (DA SILVA et. al., 2010)

Uma importante informação para o controle da operação de equipamentos térmicos, conforme da Silva et. al. (2010), é a percentagem de excesso de ar real empregado na combustão. A melhor forma de se determinar esse percentual de ar de excesso é através da análise dos gases de combustão, mais especificamente pela determinação dos teores de gás carbônico e de oxigênio em base seca.

Através do gráfico presente na Figura 3<sup>1</sup> é possível determinar a eficiência num processo de combustão a gás natural conhecendo-se os teores de CO<sub>2</sub> e de O<sub>2</sub> presentes nos gases de combustão e a temperatura de saída desses gases (temperatura de chaminé).

---

<sup>1</sup>Fonte:[http://labnet.dgc.dk/public/BISON/4%20WP%20development/WP7%20dissemination/Platon%205%2003%2009/Articles%20Portugal/A12\\_gestaoenergia.pdf](http://labnet.dgc.dk/public/BISON/4%20WP%20development/WP7%20dissemination/Platon%205%2003%2009/Articles%20Portugal/A12_gestaoenergia.pdf)

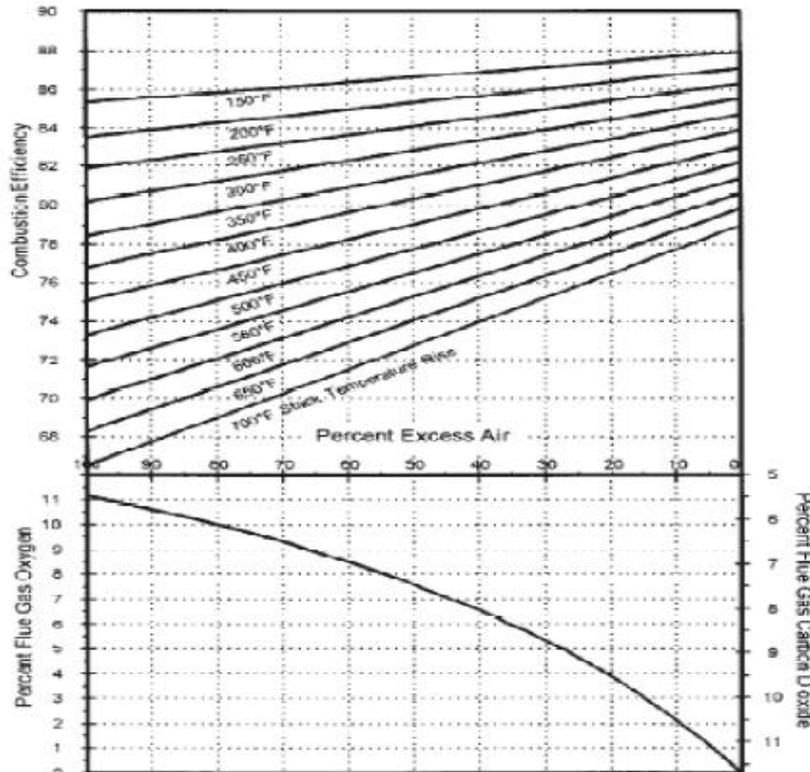


Figura 3. Eficiência na Combustão do Gás Natural.

Pela análise desse gráfico, também se observa que a percentagem de excesso de ar pode ser obtida através dos teores de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  presentes no gás de combustão. Observa-se também que a eficiência na combustão diminui com o aumento da percentagem de ar de excesso, portanto para que se obtenha a máxima eficiência no processo deve-se empregar uma quantidade mínima de ar de excesso necessária para garantir a combustão completa.

A análise dos gases pode ser feita utilizando-se analisadores contínuos, ou de amostragem periódica. Para reduzir os erros nas medidas causados pela infiltração de ar, a amostra deve ser tomada o mais próximo possível da saída da câmara de combustão. Alguns medem o teor de  $\text{O}_2$  e registram o resultado, outros medem o teor de  $\text{CO}_2$ . Existem alguns que além de determinar os teores de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ , ainda determinam a quantidade de  $\text{CO}$ , que é o maior indicativo de ineficiência na combustão, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio. (DA SILVA et. al., 2010)

Os valores usuais para os teores de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  e para a quantidade de  $\text{CO}$  encontrada nos gases de combustão para alguns combustíveis,

considerando valores usualmente encontrados e adotados por fabricantes de equipamentos térmicos, podem ser encontrados na tabela abaixo<sup>2</sup>:

Tabela 1. Faixa de valores usuais para os teores encontrados no gás de combustão para alguns combustíveis.

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	Fuligem
Óleos Pesados	12 a 14%	5 a 3%	<30 ppm	3
Gás natural	9 a 11 %	4 a 3%	<20 ppm	0
GLP	10 a 12%	4 a 2%	<20 ppm	0
Lenha	11 a 13%	9%	<200 ppm	4

### 2.2.5. Temperatura dos gases de combustão

Com o objetivo de analisar a eficiência da transferência de calor que se processa no interior de equipamento térmico, realiza-se a medida da temperatura dos gases na chaminé que pode ser feita utilizando-se um termômetro em sua base. Temperaturas muito altas de chaminé podem ser um indicativo de que está ocorrendo perda de energia para o meio externo, ou seja, que a transferência de calor não está sendo eficiente o que pode estar sendo causado por excesso de ar, ou por incrustações nas superfícies de troca térmica.

## 2.3 Um panorama geral sobre o gás natural no RS

A Companhia de gás do Estado do Rio Grande do Sul (Sulgás) é detentora da concessão para a distribuição do gás natural no Estado do Rio Grande do Sul, sendo responsável por toda a distribuição e comercialização do gás natural no RS. Criada no ano de 1993, ela atua como uma sociedade de economia mista, tendo como acionistas o Estado do Rio Grande do Sul e a

---

<sup>2</sup> Fonte: [http://www.confor.com.br/catalogos\\_pdf/mel\\_rend1.pdf](http://www.confor.com.br/catalogos_pdf/mel_rend1.pdf)

Petrobras Gás S/A – Gaspetro. O gás natural é comercializado por meio de Contratos de Compra e Venda de Gás Natural que as empresas celebram com a Companhia. (SULGÁS, 2011)

O gás natural chega ao estado através do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) que transporta o gás proveniente da Bolívia para atender os estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e RS. A rede de distribuição no RS tem cerca de 530Km onde são atendidos 19 municípios através da rede canalizada. O gás natural também é comercializado no RS através da modalidade GNC que consiste no transporte de gás natural sob a forma comprimida de um ponto de entrega do gás da rede canalizada até regiões ainda não atendidas por gasoduto. No estado do RS, existem 20 municípios atendidos por GNC. (SULGÁS, 2011)

A Sulgás possui 4.504 clientes distribuídos em 36 municípios do RS, sendo que eles correspondem a 103 Indústrias, 207 Estabelecimentos Comerciais, 78 Postos de GNV, 2 Cogeração, 4.113 Residências e 1 Termelétrica. Em 2011 obteve um volume médio de consumo pelos seus clientes, até o mês de Agosto, de aproximadamente 1,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás natural. No gráfico abaixo se encontra a porcentagem de volume consumido em 2011 por tipo de segmento de consumo no RS (SULGÁS, 2011):

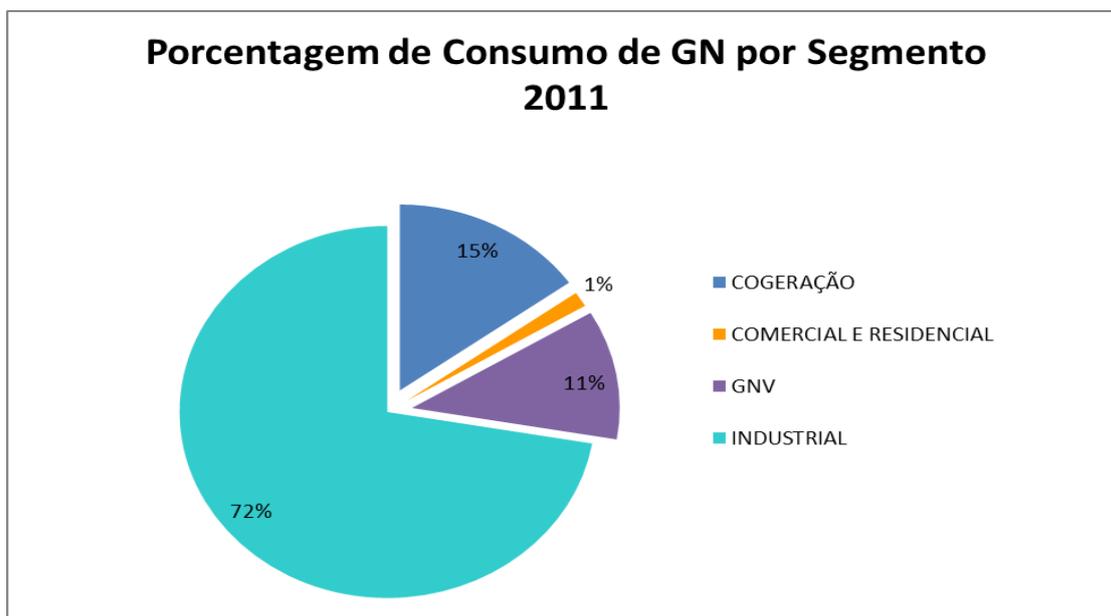


Figura 4. Volume Médio de Consumo de Gás Natural em 2011 por Segmento no Estado do RS.

O segmento industrial é o que apresenta o maior volume de consumo de gás natural representando em torno de 72% do volume total consumido em 2011. Entre os 103 clientes industriais que estão operando, 94 recebem o gás natural através de gasoduto e 9 operam pela modalidade GNC. Este segmento é representado por empresas de diversos ramos de atividade industrial, sendo que no gráfico que segue abaixo elas foram distribuídas entre diferentes setores industriais, conforme classificação da Petrobrás (SULGÁS, 2011):

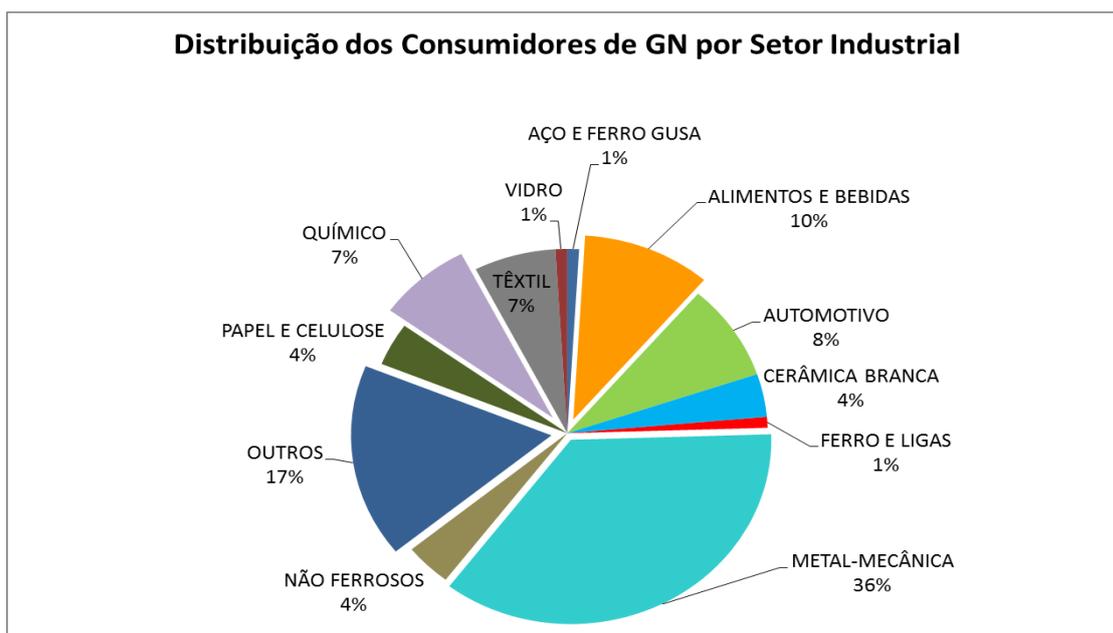


Figura 5. Porcentagem do número de clientes industriais distribuídos por tipo de setor de atividade conforme classificação da Petrobrás.

Através da observação do gráfico acima, concluímos que a maioria dos clientes industriais da Sulgás pertence ao setor de atividade de Metal-Mecânica, seguido pelo setor Outros e pelo setor de Alimentos e Bebidas.

O volume médio consumido pelo setor industrial em 2011 ficou em torno de 1,3 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás natural. A percentagem do volume consumido por cada setor de atividade industrial está representada no gráfico que segue (SULGÁS, 2011):

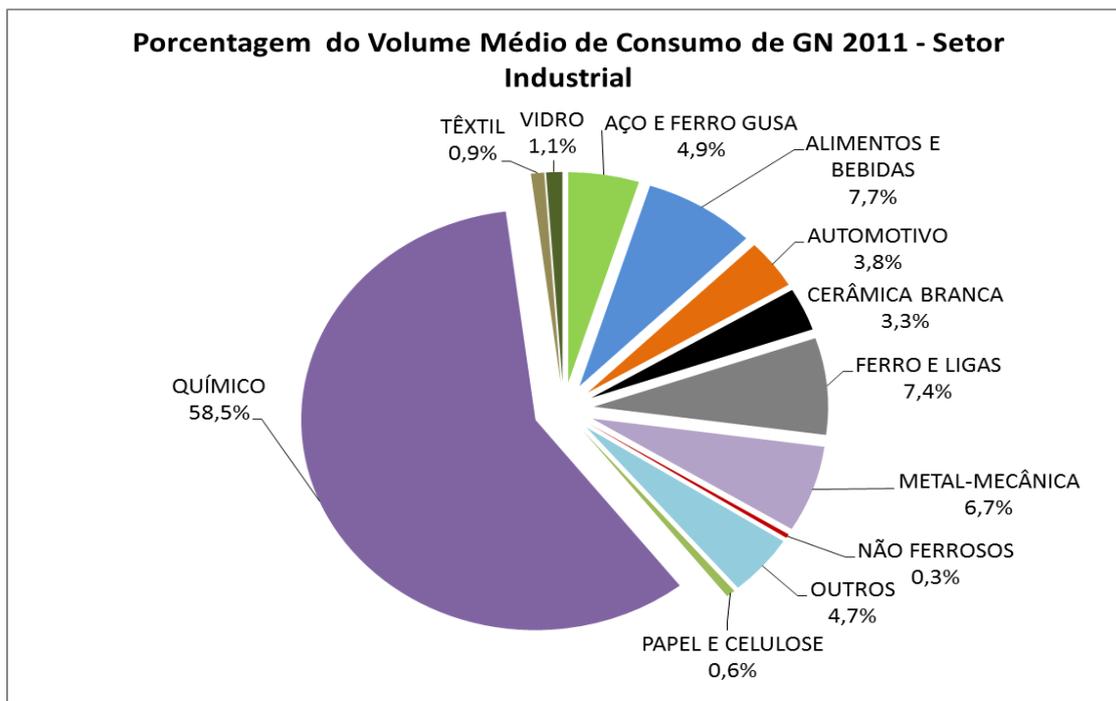


Figura 6. Distribuição do volume consumido de gás natural por setor de atividade industrial.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. O Programa Gás Mais

O texto abaixo foi escrito com base nos seguintes documentos: Relatório do Programa Gás Mais (SULGÁS, 2010), Convênio nº 00500044330084 (SULGÁS, PETROBRÁS, FIERGS e CTGÁS-ER; 2010), Plano de Trabalho do Programa Gás Mais (SULGÁS, 2010) e nas informações contidas no Banco de Dados do Programa Gás Mais.

O Programa Gás Mais é um projeto que faz parte do Convênio (nº 00500044330084) realizado entre Sulgás, Petrobrás, CTGÁS-ER e FIERGS que tem por objetivo promover a disseminação do conceito de uso eficiente e seguro do gás natural como combustível. Através desse convênio foi desenvolvido o Programa de Eficiência Energética que estabelece ações que devem ser desenvolvidas na área de eficiência energética através da execução de três projetos: Capacitação de Multiplicadores em Eficiência Energética,

Implementação do Programa Gás Mais e Auditorias em Eficiência Energética (etapa posterior a implementação do Programa Gás Mais).

O projeto Gás Mais, em particular, é composto por ações que devem ser realizadas, a fim de se promover a segurança e a racionalização na utilização do gás natural em empresas presentes no estado do Rio Grande do Sul, bem como difundir o uso do gás natural em empresas que utilizam outros energéticos apresentando o gás natural como uma nova alternativa para a geração de energia térmica. O Programa Gás Mais vem sendo executado com o apoio do CTGÁS-ER e do SENAI/RS supervisionado pela SULGÁS.

O Programa Gás Mais utiliza como método de trabalho a realização de diagnósticos de eficiência energética nas empresas participantes. Para tanto, disponibiliza apoio técnico para realizar essas avaliações, promovendo o acompanhamento do desempenho de equipamentos e sistemas que utilizam o gás natural como combustível. Através destes diagnósticos, é realizada a supervisão dos processos de queima, contribuindo para seu aprimoramento, redução de custos operacionais e diminuição das emissões atmosféricas.

As empresas interessadas em participar do Programa Gás Mais, ainda tem a oportunidade de participar de cursos de capacitação em eficiência energética que também faz parte do Programa de Eficiência Energética. Esse cursos objetivam a capacitação de multiplicadores em eficiência energética na queima de gás natural. Eles consistem em cursos de 40 horas onde são ministradas aulas referentes às disciplinas de: Física Aplicada, Combustão Aplicada, Instrumentação Aplicada, Equipamentos Térmicos e Gestão de Energia/Diagnósticos.

As metas que devem ser alcançadas com a realização do Programa Gás Mais seguem abaixo:

- Apurar as necessidades do mercado industrial de GN;
- Definir as atribuições e qualificações dos técnicos;
- Emitir diagnóstico de consumo por segmento;
- Emitir diagnóstico de emissões por segmento industrial;
- Emitir diagnósticos de benefícios para as unidades industriais que adotaram o GN como substituto dos energéticos utilizados anteriormente;
- Comparar o GN com os energéticos substituídos.

Os resultados esperados com a realização deste Programa são a difusão de ações voltadas para o combate ao desperdício de insumos energéticos, principalmente do gás natural, e a divulgação dos estudos referente à redução dos custos relacionados à energia térmica oriunda da queima de gases, a fim de aumentar o nível de competitividade empresarial no RS.

O Programa Gás Mais tem uma estrutura de operação simples composta por um técnico especializado em tempo integral equipado com aparelhos de análise, medição e controle de queima de gases de combustão, material informativo e uma unidade móvel para deslocamento. O técnico é responsável pelas visitas nas empresas que estiverem interessadas pelo projeto que, no caso, podem ser empresas que já utilizam o gás natural, ou empresas que ainda não utilizam, mas que tenham interesse e potencial para utilizá-lo.

Nas visitas são observadas as condições dos equipamentos e sistemas que utilizam o GN como combustível por meio de análises, medições e coleta de informações. Através dos resultados e informações obtidas, o técnico, juntamente com o grupo de profissionais da empresa, realiza o diagnóstico de eficiência energética e faz as recomendações cabíveis.

As empresas tem retorno quanto aos diagnósticos realizados através do recebimento de relatórios com sugestões de operacionalização dos seus equipamentos, entre outras sugestões pertinentes. Entre os possíveis benefícios para essas empresas podem ser citados: a diminuição das emissões de gases, redução de custos operacionais, aprimoramento dos processos industriais e comerciais, identificação de novas aplicações do gás natural com ganhos econômicos e ambientais, além de aproveitar a competitividade energética que esse combustível proporciona. Tudo isso visando uma maior lucratividade, competitividade e desenvolvimento para o setor industrial e comercial no RS.

### **3.2.1. Procedimentos adotados nas visitas técnicas**

Durante a realização das visitas técnicas, é feita a coleta de dados gerais referentes à empresa como seu ramo de atividade, os energéticos utilizados, bem como de dados referentes aos equipamentos que utilizam combustíveis para geração de energia térmica. Existe um formulário específico para cada tipo de equipamento, chamado de “Check List” do equipamento, que contempla suas características e informações solicitadas.

Um resumo das informações que são solicitadas, por meio dos “Check Lists” dos equipamentos, encontra-se abaixo:

- Equipamento: tipo, modelo, fabricante, ano, material e quantidade;
- Tipo de combustível utilizado;
- Se há medidor de vazão de combustível;
- Qual a vazão de combustível;
- Tipo de Aquecimento e nº de zonas no forno;
- Tipo de queimador, queimadores por zona e total de queimadores;
- Potência e ano dos queimadores
- Tipo de Controle;
- Como é feita a mistura ar/gás;
- Capacidade de produção e produção média;
- Pressão máxima admissível, pressão de trabalho e pressão do combustível;
- Temperaturas: do vapor, do produto, da água, do combustível, do ambiente, do processo, do ar e da chaminé;
- Se há análise dos gases de combustão; frequência das análises e gases monitorados;
- Teor do gás de combustão;
- Condições de isolamento do equipamento;
- Qual a distância da caldeira - equipamento;
- Se há superaquecedor, economizador ou pré-aquecedor de ar;
- Qual a frequência de purgas de fundo, se tem purgadores na linha de vapor; recuperação de condensado e tratamento de água;
- Presença de sensor de chama;

- Apresenta, ou não calibragem regular dos instrumentos; livro da caldeira, cavalete conforme NBR 12.313;

- Procedimentos de partida e parada do equipamento;
- Qual empresa fornece a manutenção do equipamento.

Verifica-se também a presença de operadores capacitados para operar os equipamentos, se os equipamentos possuem uma rotina de manutenção, de inspeção e qual é a frequência de realização desses procedimentos.

A fim de complementar as informações obtidas na coleta de dados, o técnico ainda realiza a medida da temperatura dos gases de combustão através de um pirômetro de contato e a medida da temperatura de parede utilizando um pirômetro de radiação.

As figuras abaixo mostram o técnico realizando os procedimentos de medida da temperatura dos gases de combustão e de temperatura de parede, conforme segue:



Figura 7. Medida da temperatura dos gases de combustão através de um pirômetro de contato.



Figura 8. Medida da temperatura de parede através de pirômetro de radiação.

É realizado também o procedimento de análise dos gases de combustão de cada equipamento térmico, quando possível, através do analisador de gases. São medidos os teores de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e as quantidades de  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  presentes nos gases de combustão. Com a medida desses valores, é possível analisar a eficiência do processo de combustão e aspectos ambientais.

A figura abaixo mostra o técnico realizando as medidas com o analisador de gases:



Figura 9. Medição através do analisador de gases.

### 3.2.2. Diagnósticos de eficiência energética

Ao final dos procedimentos anteriores, o técnico em conjunto com os profissionais da empresa visitada elabora o diagnóstico de eficiência energética. O diagnóstico consiste na identificação de problemas relacionados aos equipamentos térmicos e ao processo de combustão que possam estar diminuindo a eficiência e a segurança dos mesmos e são propostas sugestões para a solução desses problemas.

De posse de todas essas informações, é elaborado um relatório detalhado da visita onde estarão todas as informações coletadas sobre os equipamentos, observações pertinentes, problemas detectados e as sugestões propostas.

Com o diagnóstico e o relatório completo da visita, a empresa terá mais facilidade para detectar problemas relacionados com a segurança e

operação dos seus equipamentos térmicos, ficando mais fácil de tomar as medidas cabíveis para aprimorar seu processo de combustão.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As visitas do Programa Gás Mais começaram a ser realizadas durante o ano de 2010 e continuam em andamento, sendo que várias empresas já foram visitadas e diagnosticadas pelo Programa. Tendo em vista que o Programa ainda está em andamento, até o momento não se tem um número exato de quantas empresas já foram visitadas e diagnosticadas. Portanto, neste trabalho são analisados dados referentes aos diagnósticos e relatórios correspondentes a 31 empresas do ramo industrial, sendo este um resultado parcial do Programa que ainda está acontecendo. Além disso, o Programa também se estende ao setor comercial que não será analisado neste trabalho.

Os dados e resultados que são utilizados nessas análises pertencem ao banco de dados da Sulgás que supervisiona e avalia os resultados do Programa Gás Mais.

O objetivo é analisar a eficiência dos sistemas de combustão a gás natural dessas 31 empresas por setor de atividade industrial e como um todo, representando parte da indústria consumidora de gás natural no RS. Para tanto, serão analisados dados referentes às análises dos gases de combustão, temperatura dos gases de combustão e as condições de isolamento dos equipamentos, pois estes são parâmetros importantes para se avaliar a eficiência energética de sistemas de combustão.

##### **4.1 Informações gerais sobre as empresas visitadas**

São analisadas 31 empresas que foram avaliadas pelo Programa Gás Mais pertencentes ao ramo de atividade industrial. Elas pertencem a

diferentes setores da indústria e a maioria delas já utiliza o gás natural como combustível para a geração de energia térmica em seus equipamentos. Na tabela abaixo, se encontram informações gerais sobre essas empresas, tais como, o setor de atividade industrial, tipo de energético utilizado e a quantidade de equipamentos avaliados em cada uma delas:

Tabela 2. Informações gerais das empresas visitadas.

Informações Gerais das Empresas Visitadas			
Empresa	Ramo de Atividade	Energético	Equipamentos
1	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	Lenha e GLP	1 Caldeira e 1 Secador
2	14- METAL-MECÂNICA	GN	5 Cubas de Lavagem
3	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	GN	1 Caldeira
4	14- METAL-MECÂNICA	GN	1 Aquecedor e 2 Estufas
5	7- CERÂMICA BRANCA	GN	3 Fornos, 3 Secadores e 1 Estufa
6	14- METAL-MECÂNICA	GN	1 Caldeira e 5 Estufas
7	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	GN	1 Caldeira
8	13- AUTOMOTIVO	GN	2 Fornos
9	14- METAL-MECÂNICA	GN	1 Forno
10	15- OUTROS	GN	1 Aquecedor, 5 Fornos e 1 Estufa
11	12- TÊXTIL	GN	2 Caldeiras e 2 Aquecedores
12	14- METAL-MECÂNICA	GN	2 Fornos
13	4- AÇO E FERRO GUSA	GN	3 Fornos
14	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	GLP	2 Caldeiras e 1 Forno
15	1- QUÍMICO	GN	1 Caldeira
16	14- METAL-MECÂNICA	GN	2 Fornos
17	15- OUTROS	GN	4 Estufas e 2 Cubas de Lavagem
18	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	GN	4 Caldeiras e 7 Fornos
19	12- TÊXTIL	GN e GLP	1 Caldeira e 2 Estufas
20	14- METAL-MECÂNICA	GN	1 Caldeira e 3 Estufas
21	14- METAL-MECÂNICA	GN	8 Fornos e 2 Autoclaves
22	14- METAL-MECÂNICA	GN	1 Caldeira e 1 Cuba de Zincagem
23	15- OUTROS	GN	2 Estufas, 1 Lavadora e 1 Embaladora
24	13- AUTOMOTIVO	GN e Lenha	1 Caldeira, 1 Aquecedor e Estufa
25	11- NÃO FERROSOS	GN	1 Cuba de Zincagem
26	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	GNC	4 Fornos e 1 Caldeira
27	14- METAL-MECÂNICA	GN	2 Estufas e 1 Lavadora
28	13- AUTOMOTIVO	GN	2 Caldeiras
29	14- METAL-MECÂNICA	GN	10 Fornos e 6 Estufas
30	3- ALIMENTOS E BEBIDAS	Óleo Diesel e GLP	3 Fornos e 1 Caldeira
31	15- OUTROS	GLP	3 Fornos

A distribuição das empresas visitadas por setor de atividade industrial se encontra no gráfico abaixo:

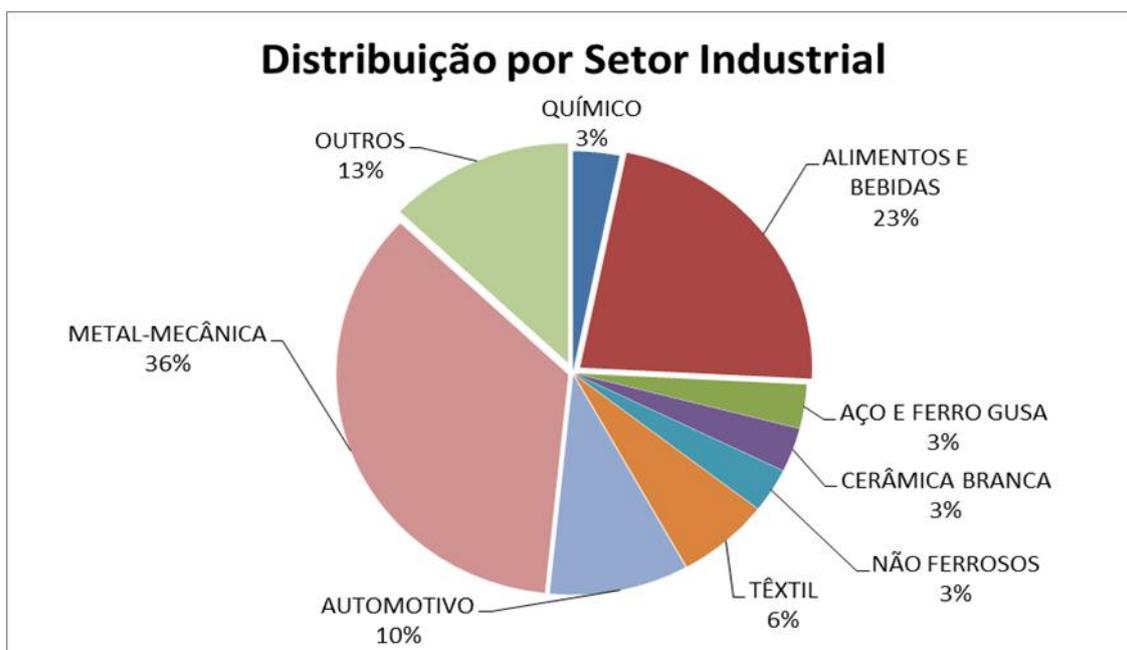


Figura 10. Distribuição das empresas por setor de atividade industrial.

Através da análise do gráfico acima, podemos concluir que a amostra das empresas que serão analisadas é representativa, considerando que a grande maioria utiliza o gás natural como combustível, pois os setores predominantes são Metal-Mecânica, Alimentos e Bebidas e Outros, assim como ocorre na distribuição dos consumidores de gás natural no RS por setor industrial. A fim de facilitar a análise dos dados das empresas visitadas, os setores que não estavam bem representados foram incluídos no setor chamado de Outros e no setor de Metal-Mecânica, quando conveniente, gerando uma nova distribuição por setores como segue no próximo gráfico:

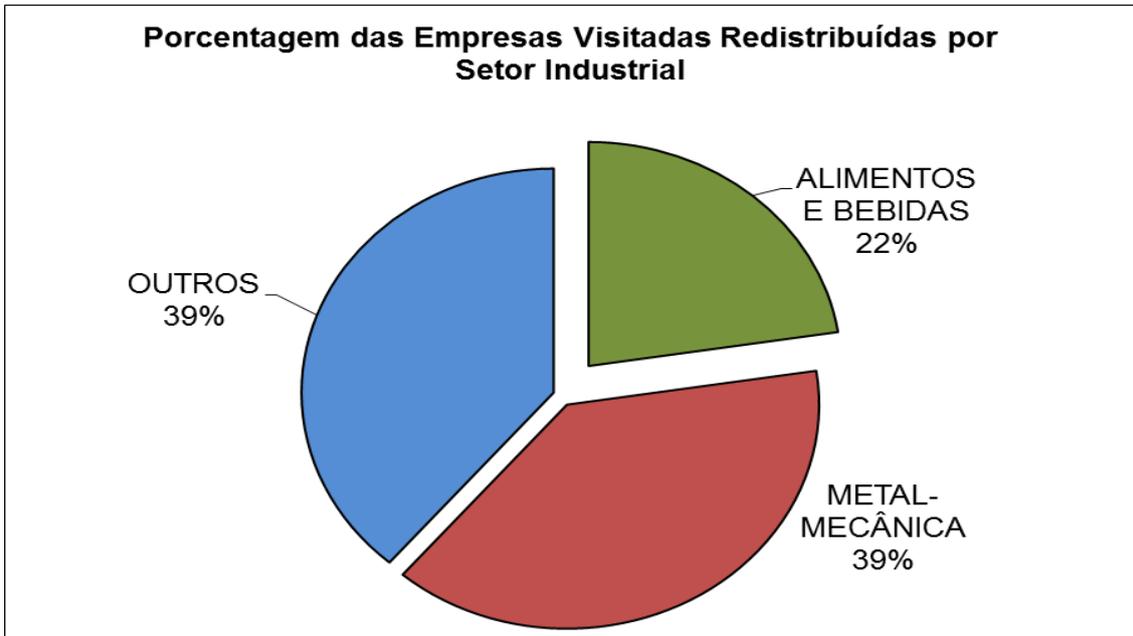


Figura 11. Porcentagem das empresas visitadas redistribuídas por setor de atividade industrial.

Foi avaliado um total de 127 equipamentos térmicos durante a realização do Programa nessas empresas. Entre eles estavam caldeiras, secadores, cubas de lavagem, estufas, aquecedores, fornos, autoclaves, cubas de zincagem, lavadoras e embaladoras. Sendo que a maioria deles eram fornos totalizando 54, seguidos por 29 estufas e 21 caldeiras. A quantidade de equipamentos analisados classificados por tipo se encontra no gráfico abaixo:

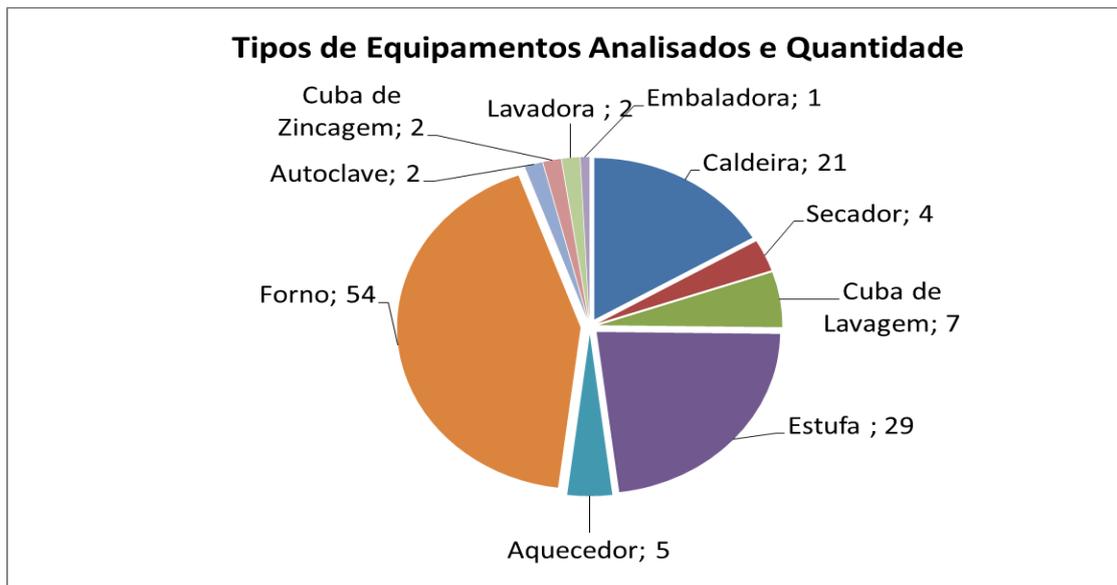


Figura 12. Quantidade de Equipamentos analisados classificados por tipo de equipamento térmico.

Desses 127 equipamentos avaliados apenas 13 utilizam outro combustível ao invés de gás natural. Em função de que a maioria desses equipamentos utiliza o gás natural como combustível, e que o objetivo do trabalho é analisar a eficiência de sistemas de combustão a GN a análise do trabalho será feita apenas nos equipamentos que operam a gás natural.

## 4.2 Análises dos gases de combustão

A análise dos gases de combustão só pode ser realizada em 55% dos equipamentos avaliados pelo programa, sendo que os outros 45% apresentaram impossibilidade de análise dos gases, em geral, por não haver local para coleta da amostra dos gases de combustão. Além disso, foi observado que apenas 20% das empresas visitadas realizam este tipo de análise, sendo que a análise dos gases de combustão é uma das formas mais exatas de se controlar a combustão e de se otimizar sua eficiência.

Os resultados das análises dos gases de combustão dos equipamentos foram divididos em três setores de classificação industrial como já mencionado anteriormente: Metal-Mecânica, Alimentos e Bebidas, e Outros.

Para o setor de Metal-Mecânica, seguem nas figuras e na tabela abaixo, os resultados das análises dos gases de combustão correspondentes aos equipamentos a GN que puderam ser avaliados:

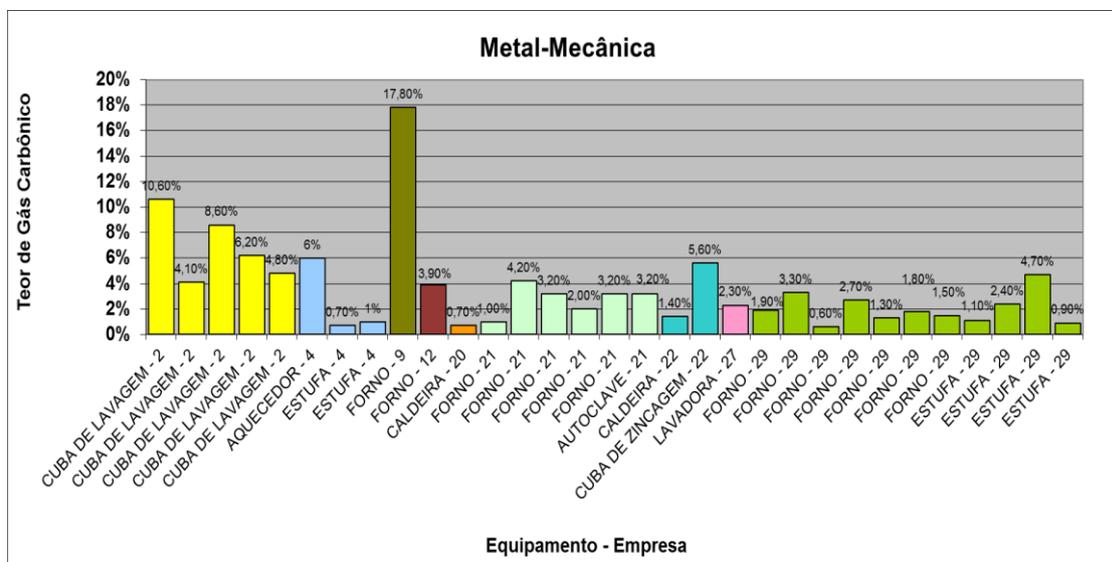


Figura 13. Teores de CO<sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do setor de Metal-Mecânica.

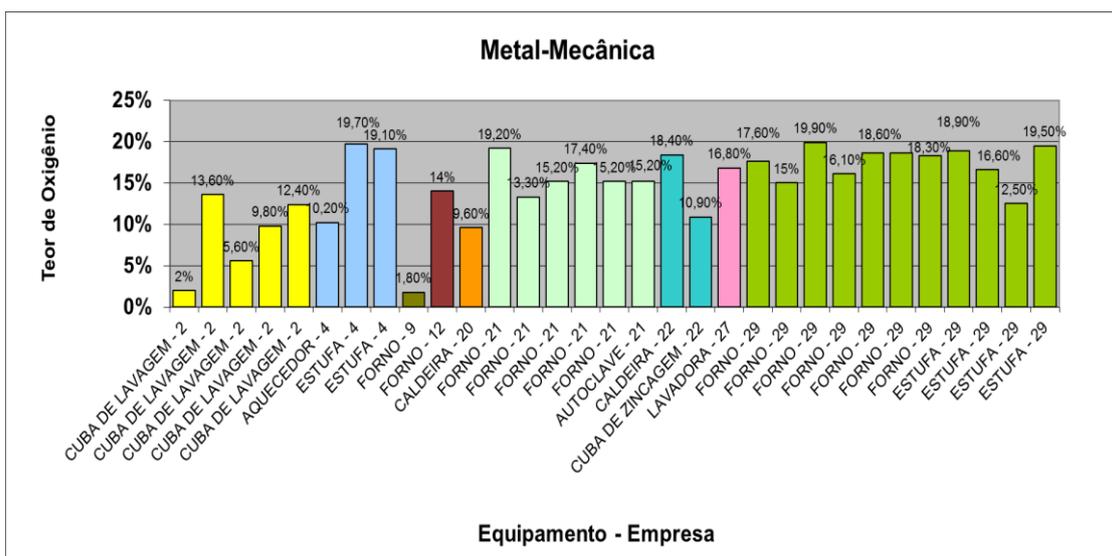


Figura 14. Teores de O<sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Metal-Mecânica.

Tabela 3. Quantidades de CO correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Metal-Mecânica.

ANÁLISE DOS GASES DE COMBUSTÃO			
EMPRESA	SETOR INDUSTRIAL	EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE DE CO (ppm)
Empresa 2	METAL-MECÂNICA	CUBA DE LAVAGEM - 2	9104
		CUBA DE LAVAGEM - 2	30
		CUBA DE LAVAGEM - 2	43
		CUBA DE LAVAGEM - 2	8
		CUBA DE LAVAGEM - 2	24
Empresa 4	METAL-MECÂNICA	AQUECEDOR - 4	11
		ESTUFA - 4	36
		ESTUFA - 4	22
Empresa 9	METAL-MECÂNICA	FORNO - 9	176
Empresa 12	METAL-MECÂNICA	FORNO - 12	282
Empresa 20	METAL-MECÂNICA	CALDEIRA - 20	482
Empresa 21	METAL-MECÂNICA	FORNO - 21	5
		FORNO - 21	12
		FORNO - 21	11
		FORNO - 21	4
		FORNO - 21	20
Empresa 22	METAL-MECÂNICA	AUTOCLAVE - 21	6
		CALDEIRA - 22	1253
Empresa 27	METAL-MECÂNICA	CUBA DE ZINCAGEM - 22	609
		LAVADORA - 27	110
Empresa 29	METAL-MECÂNICA	FORNO - 29	36
		FORNO - 29	22
		FORNO - 29	63
		FORNO - 29	4
		FORNO - 29	3
		FORNO - 29	20
		FORNO - 29	47
		ESTUFA - 29	62
		ESTUFA - 29	79
ESTUFA - 29	46		
ESTUFA - 29	43		

Através da análise dos dados presentes nos gráficos e na tabela acima, observa-se que em muitos dos equipamentos avaliados os teores de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e a quantidade de CO encontram-se fora dos valores usualmente encontrados e adotados pelos fabricantes de equipamentos térmicos (padrão: CO<sub>2</sub>= 9 a 10,5%, O<sub>2</sub>= 2 a 5%; CO < 30ppm).

A maioria dos equipamentos desse setor apresentou valores para o teor de gás carbônico abaixo do padrão e para o teor de oxigênio valores acima do padrão. Esse resultado pode ser um indicativo que está sendo empregado ar de excesso, além da quantidade necessária, ou ainda, pode indicar a existência de entradas ar falso (aberturas no equipamento que permitem a passagem de ar) ou infiltrações de ar no equipamento. Uma quantidade de ar de excesso, além da necessária, pode diminuir a eficiência na combustão, pois dilui os gases de combustão diminuindo a temperatura de chama e, além disso, contribui para o aumento das quantidades de NO e NO<sub>x</sub> geradas no processo.

Foram detectadas entradas de ar falso nos seguintes equipamentos do Setor de Metal-Mecânica: estufas (empresa 4), forno (empresa 12), estufas e fornos (empresa 29). A entrada de ar falso provoca uma leitura falsa dos teores lidos pelo analisador, pois o ar falso dilui os gases de combustão. Portanto, o ar falso pode estar sendo responsável pelos elevados teores de oxigênio e baixos teores de gás carbônico nestes equipamentos, comprometendo a eficácia da análise dos gases de combustão pelo analisador.

Quanto à quantidade de CO, que é o maior indicativo de combustão incompleta, se for considerado o valor padrão (quantidade de CO menor que 30 ppm), percebemos que a maioria dos equipamentos está com valores fora do padrão, sendo que alguns apresentaram valores muito distantes do padrão. Os equipamentos que estão fora dos valores usuais de CO revelaram problemas como a existência de queimadores inativos ou mal regulados, entre outros.

Os resultados das análises dos gases de combustão correspondentes aos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Alimentos e Bebidas seguem nas duas figuras e na tabela abaixo:

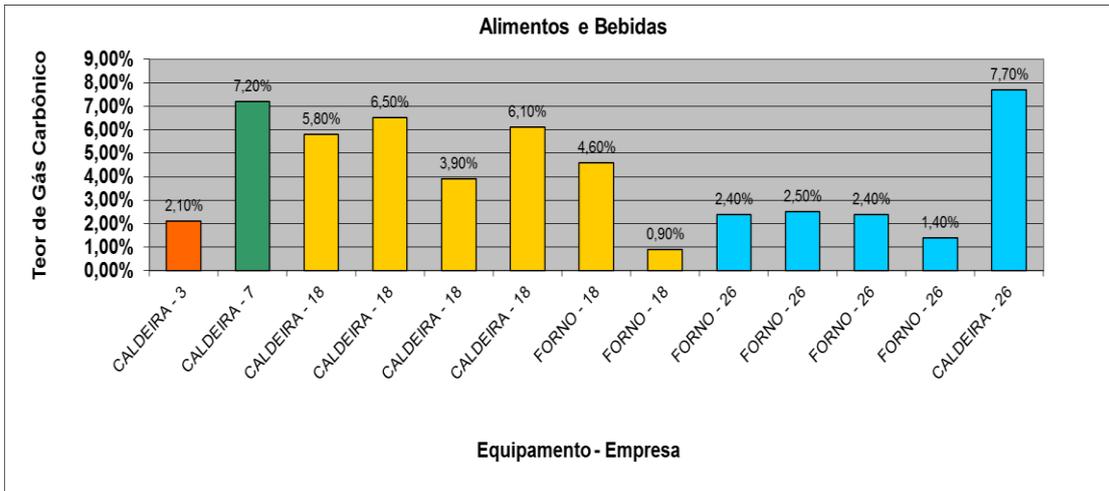


Figura 15. Teores de CO<sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do setor de Alimentos e Bebidas.

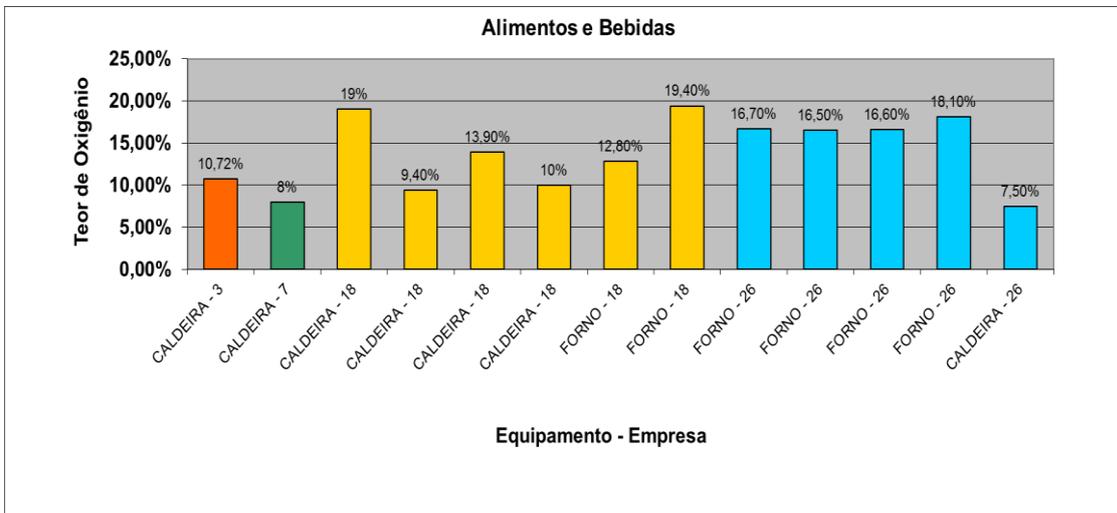


Figura 16. Teores de O<sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Alimentos e Bebidas.

Tabela 4. Quantidades de CO correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor de Alimentos e Bebidas.

ANÁLISE DOS GASES DE COMBUSTÃO			
EMPRESA	SETOR INDUSTRIAL	EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE DE CO (ppm)
Empresa 3	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 3	3
Empresa 7	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 7	0
Empresa 18	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 18	39
	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 18	9
	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 18	231
	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 18	142
	ALIMENTOS E BEBIDAS	FORNO - 18	349
	ALIMENTOS E BEBIDAS	FORNO - 18	17
Empresa 26	ALIMENTOS E BEBIDAS	FORNO - 26	103
	ALIMENTOS E BEBIDAS	FORNO - 26	103
	ALIMENTOS E BEBIDAS	FORNO - 26	102
	ALIMENTOS E BEBIDAS	FORNO - 26	400
	ALIMENTOS E BEBIDAS	CALDEIRA - 26	12

Os resultados das análises dos gases para o setor de Alimentos e Bebidas também mostram que a maioria dos equipamentos apresentou teores de dióxido de carbono abaixo do padrão e teores de oxigênio acima do padrão indicando a ocorrência de ar de excesso além do necessário, ou de entradas de ar falso e infiltrações nos equipamentos. Para as quantidades de CO, a maioria dos equipamentos também está fora do valor padrão.

Foi detectada a presença de entradas de ar falso nos fornos da empresa 26 o que provoca uma leitura falsa dos teores pelo analisador. Portanto, os valores medidos não representam a composição real dos gases de combustão para estes equipamentos.

As análises dos gases de combustão para os equipamentos avaliados no setor Outros apresentou os resultados que seguem nas figuras e na tabela abaixo:

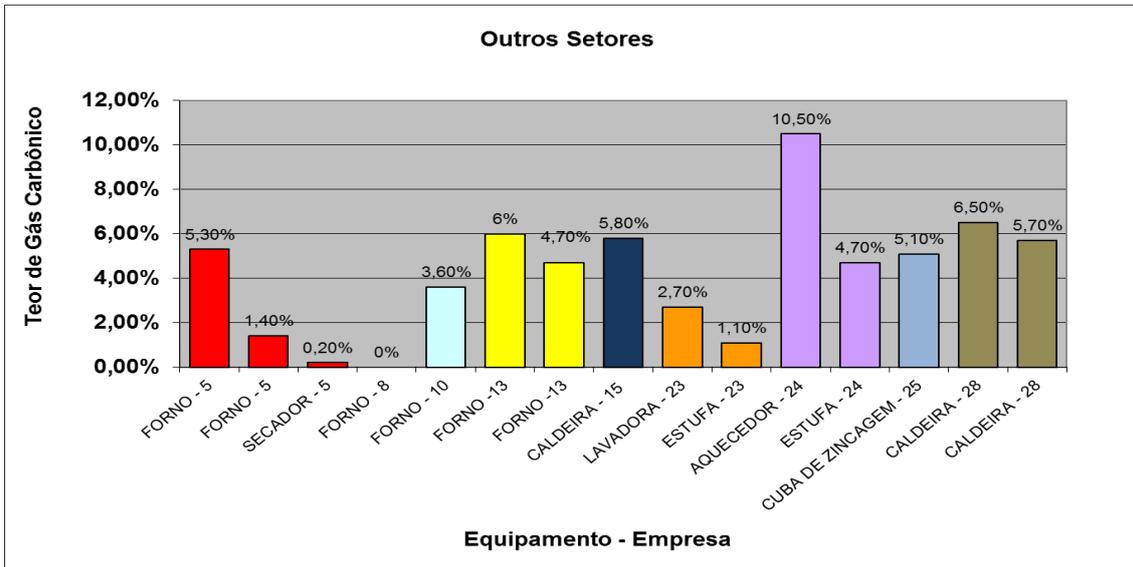


Figura 17. Teores de CO<sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do setor de Alimentos e Bebidas.

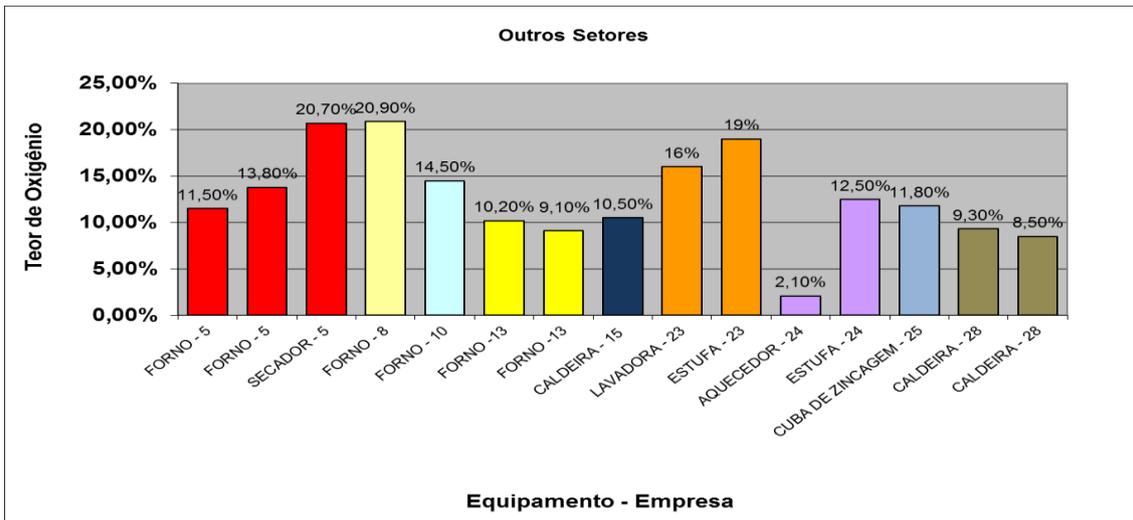


Figura 18. Teores de O<sub>2</sub> correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor Outros.

Tabela 5. Quantidades de CO correspondentes aos gases de combustão dos equipamentos avaliados nas empresas do Setor Outros.

ANÁLISE DOS GASES DE COMBUSTÃO			
EMPRESA	SETOR INDUSTRIAL	EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE DE CO (ppm)
Empresa 5	OUTROS	FORNO - 5	24
	OUTROS	FORNO - 5	4
	OUTROS	SECADOR - 5	13
Empresa 8	OUTROS	FORNO - 8	20
Empresa 10	OUTROS	FORNO - 10	186
Empresa 13	OUTROS	FORNO -13	24
	OUTROS	FORNO -13	156
Empresa 15	OUTROS	CALDEIRA - 15	5
Empresa 23	OUTROS	LAVADORA - 23	20
	OUTROS	ESTUFA - 23	8
Empresa 24	OUTROS	AQUECEDOR - 24	7997
	OUTROS	ESTUFA - 24	469
Empresa 25	OUTROS	CUBA DE ZINCAGEM - 25	2315
Empresa 28	OUTROS	CALDEIRA - 28	21
	OUTROS	CALDEIRA - 28	20

A maioria dos equipamentos do setor Outros também está com os gases de combustão fora dos parâmetros, considerando os valores padrões para equipamentos térmicos.

No setor Outros foram detectadas entradas de ar falso no forno da empresa 8 e na estufa da empresa 23. Os dois equipamentos inclusive estão com teores de oxigênio bem acima do padrão e tores de gás carbônico bem abaixo do valor padrão, sendo que no forno 8 o teor de gás carbônico nem pode ser detectado pelo analisador, fato que pode ter sido causado por uma grande diluição do gás de combustão pelo ar falso que entra no equipamento.

Considerando todos os resultados obtidos e analisando o setor industrial como um todo se conclui que a maioria dos equipamentos está fora dos parâmetros que são usualmente encontrados e adotados por fabricantes de equipamentos térmicos. Sendo que 97% dos equipamentos que tiveram análises realizadas estão fora da faixa de valores padrão para os teores de oxigênio e gás carbônico e que 51% destes equipamentos estão com os valores de monóxido de carbono acima do valor limite padrão.

Os resultados demonstram que pode estar sendo empregado ar em excesso em vários equipamentos, além do necessário, o que não garante que a combustão seja completa, pois muitos teores de monóxido de carbono estão

elevados. Conforme os diagnósticos de eficiência energética os principais problemas que estão ocorrendo que interferem nesses valores estão relacionados com a regulagem dos queimadores, com queimadores inativos e com a regulagem da quantidade de ar de excesso empregada.

Porém, deve-se considerar que a presença de ar falso proporciona uma falsa leitura dos teores medidos pelo analisador, pois o ar falso dilui os gases de combustão. Isso pode explicar valores altos para os teores de oxigênio encontrados em alguns equipamentos. Além disso, as entradas de ar falso também diminuem a eficiência do processo de combustão, pois resfriam o equipamento e com isso a tendência é aumentar o consumo de combustível. Foram detectadas entradas de ar falso em 33% desses equipamentos que tiveram seus gases de combustão avaliados, portanto esses equipamentos tiveram os resultados de suas análises comprometidas.

Conforme cada tipo de problema detectado, foram feitas sugestões através dos diagnósticos de eficiência energética. Algumas dessas sugestões foram as seguintes: realizar o ajuste da queima regulando a quantidade de ar de modo a se obter o mínimo de excesso de ar necessário para cada processo, contratar um técnico especializado no ajuste do queimador para realizar mudanças necessárias, contratar um técnico habilitado para realizar manutenção dos queimadores, entre outras. As sugestões para os problemas relacionados com entradas de ar falso serão citadas mais adiante.

### **4.3. Análises da temperatura dos gases de combustão e das condições de isolamento dos equipamentos**

Durante as visitas, também foi realizado o procedimento de medida da temperatura dos gases de combustão dos equipamentos avaliados. Porém, este procedimento não pode ser realizado em todos os equipamentos avaliados.

Os resultados que foram encontrados nas empresas que puderam ter suas temperaturas medidas encontram-se nas figuras abaixo:

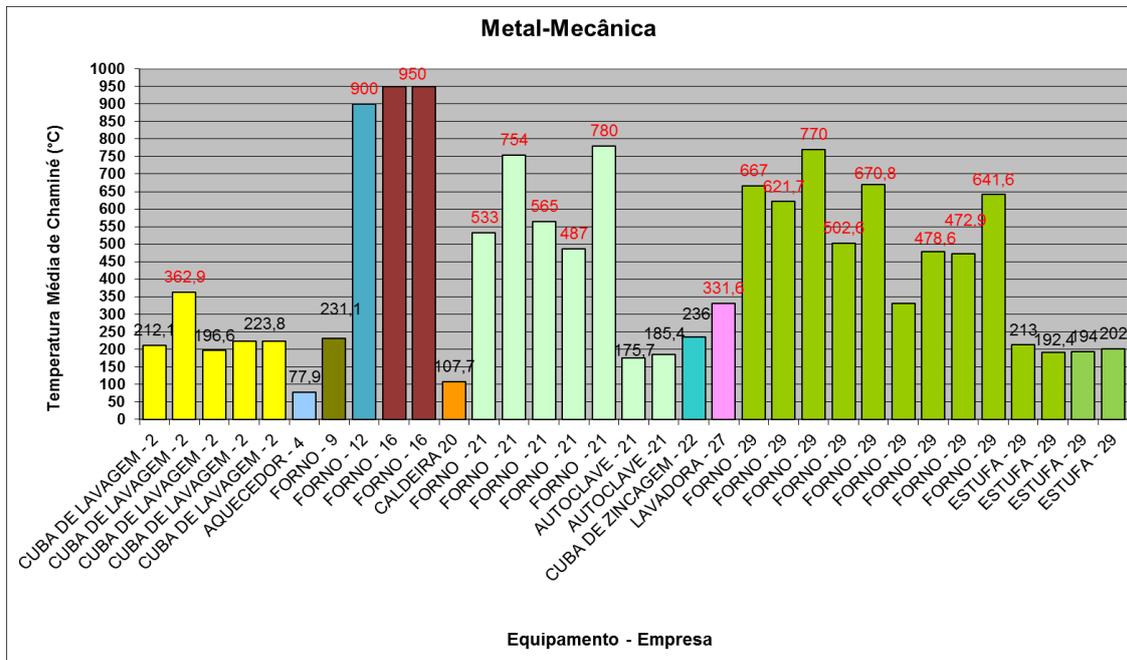


Figura 19. Temperaturas dos Gases de Combustão nos equipamentos avaliados do setor de Metal-Mecânica.

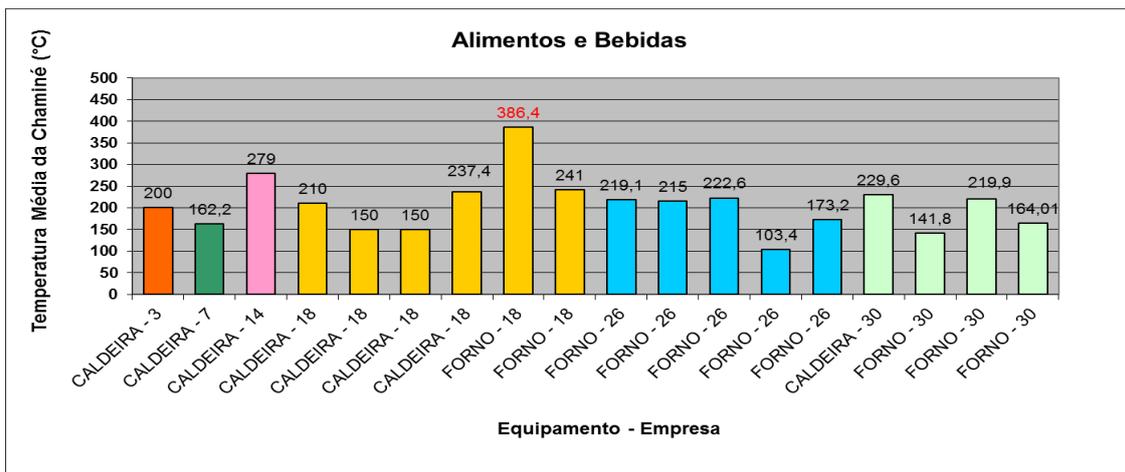


Figura 20. Temperaturas dos Gases de Combustão nos equipamentos avaliados do setor de Alimentos e Bebidas.

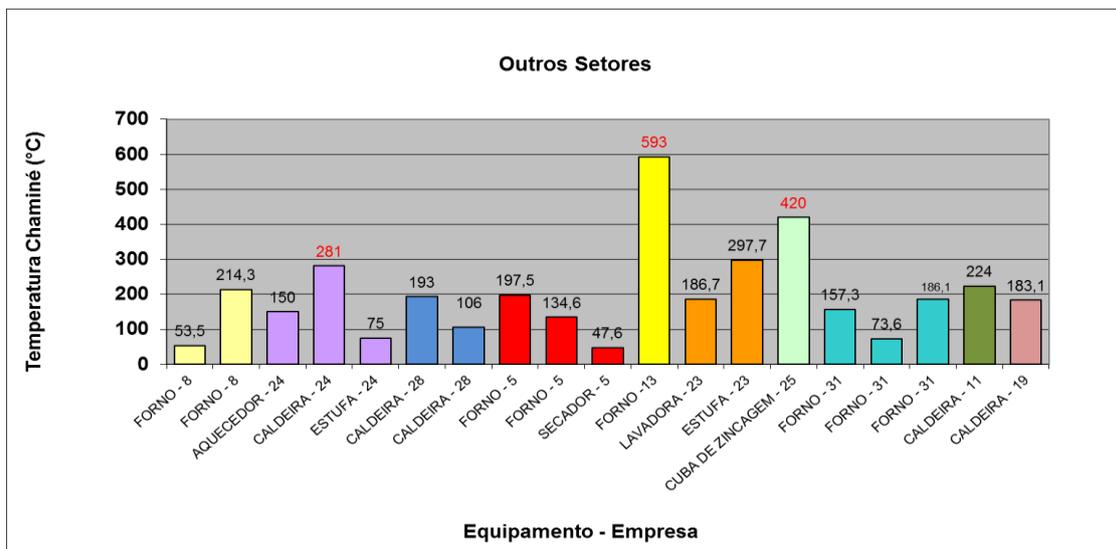


Figura 21. Temperaturas dos Gases de Combustão nos equipamentos avaliados do setor Outros.

Analisando os resultados obtidos, observa-se que os equipamentos do setor de Metal-Mecânica possuem as temperaturas mais altas o que pode indicar um potencial de ganho energético. Nos setores de Alimentos e Bebidas e Outros as temperaturas se apresentaram mais brandas.

As altas temperaturas de chaminé podem ser um indicativo de que a troca térmica entre o fluido de aquecimento e o produto não está sendo eficiente e assim grande parte da energia está sendo dissipada para o meio externo juntamente com os gases de combustão.

Nas empresas que tiveram suas temperaturas de chaminé medidas se verificou a possibilidade de aumento da eficiência energética através da utilização da energia proveniente dos gases de combustão em seus processos. Para equipamentos térmicos com temperaturas acima de 200°C existe a possibilidade de aproveitamento dessa energia para o processo. Portanto, para as empresas com equipamentos que tiveram medidas de temperatura da chaminé acima de 200°C e que ainda não aproveitam essa energia foram feitas sugestões através dos diagnósticos. Entre as sugestões que foram feitas estavam utilizar essa energia para pré-aquecer o ar de combustão ou para pré-aquecer o fluido de aquecimento do equipamento, entre outras.

Quanto às condições de isolamento, a maioria estava em boas condições e em condições razoáveis, à exceção de poucos equipamentos que

apresentaram temperaturas de parede elevadas e outros que possuíam aberturas que permitiam a passagem de ar falso (conforme citado anteriormente) ou infiltrações. Foi sugerido através dos diagnósticos, o fechamento ou diminuição dessas entradas de ar falso, vedação das infiltrações de ar e melhora no isolamento dos equipamentos com altas temperaturas de parede. O objetivo com essas sugestões é aumentar a eficiência da transferência de calor entre fluido de aquecimento e produto o que traz a possibilidade de ganho em eficiência energética, pois provavelmente precisará de menos combustível para se chegar à temperatura desejada.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados parciais que foram analisados referentes ao Programa Gás Mais permitiram fazer uma análise geral da eficiência nos processos de combustão das empresas consumidoras de gás natural do setor industrial do RS.

Quanto às análises dos gases de combustão, 80% das empresas visitadas não realizam essa análise nos seus equipamentos térmicos o que significa que não se tem conhecimento dos teores dos gases presentes nesses gases de combustão e nem das quantidades de óxidos de nitrogênio e de enxofre geradas pelos equipamentos térmicos dessas empresas. Ainda referente à análise dos gases de combustão, somente 55% dos equipamentos térmicos puderam ter seus gases de combustão avaliados durante as visitas do programa. Referente aos resultados obtidos por essas análises, de maneira geral os equipamentos térmicos a GN estão com valores fora da faixa padrão para os teores dos gases de combustão de equipamentos térmicos. Porém, deve-se levar em conta que em 33% desses equipamentos avaliados foram detectadas entradas de ar falso o que diminui a eficiência e provoca leitura falsa pelo analisador de gases.

As temperaturas dos gases de combustão se apresentaram muito altas para o setor de Metal Mecânica e para os outros dois setores se apresentaram mais brandas. Dos equipamentos que tiveram suas temperaturas medidas 31% apresentou temperaturas maiores que 250°C, sendo que a alta temperatura dos gases de combustão pode indicar baixa eficiência na troca térmica o que diminui a eficiência do processo de combustão.

Com esta análise conclui-se que as empresas consumidoras de GN do RS ainda podem melhorar e aprimorar os seus processos e sistemas de combustão e que existem melhorias que podem ser feitas nesta área, nos equipamentos térmicos correspondentes e medidas que podem ser tomadas, a fim de se obter aumento na eficiência e segurança em processos de queima de gás natural.

Portanto, o Programa Gás Mais deve prosseguir com as suas visitas e seus trabalhos, como já está sendo feito, buscando atingir suas metas e

objetivos. O programa vem cumprindo o seu objetivo principal difundindo os conceitos de eficiência e segurança na combustão do gás natural nas empresas do RS. Além disso, vem auxiliando as empresas a identificar problemas que podem estar diminuindo a eficiência e segurança de seus processos de combustão. Através dos diagnósticos de eficiência energética que vem sendo realizados nas empresas, durante as visitas do programa, estão sendo propostas sugestões que se forem implementadas pelas empresas poderão trazer benefícios econômicos, ambientais e na segurança dos processos.

## **6. TRABALHOS FUTUROS**

A sugestão para possíveis trabalhos futuros seria continuar analisando os Resultados do Programa Gás Mais, tentando abranger uma maior quantidade de aspectos que foram avaliados pelo Programa, a fim de se obter um resultado mais preciso sobre a eficiência dos sistemas de combustão do setor industrial do RS. Outros aspectos que poderiam ser analisados são os seguintes: aspectos ambientais, controle do processo de combustão, segurança dos equipamentos, entre outras informações obtidas pelo Programa.

## 7. REFERÊNCIAS

Caldeiras. Disponível em: <[http://www.confor.com.br/catalogos\\_pdf/mel\\_rend1.pdf](http://www.confor.com.br/catalogos_pdf/mel_rend1.pdf)>. Acesso em: 3 de Outubro de 2011.

Combustão 2. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/fiepr/energia/artigostecnicos/combustao2.pdf>>. Acesso em 30 de Setembro de 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. O Gás Natural e a Indústria. Conselho para assuntos de energia, 1989, Rio de Janeiro.

DA COSTA, Ennio Cruz. Combustão: Física Industrial – 7º Volume. Editora CEUE, Centro dos Estudantes Universitários de Engenharia da UFRGS, 1968, Porto Alegre.

DA SILVA, Adieci Vigannico et. al.. Eficiência Energética: Aplicada à queima de gases combustíveis. Esteio, 2010.

DE CARVALHO JR., João Andrade. McQuay, Mardson Queiroz. Princípios de Combustão Aplicada, Série Didática. Editora da UFSC, 2007, Florianópolis.

Gestão de Energia. Disponível em: <[http://labnet.dgc.dk/public/BISON/4%20WP%20development/WP7%20dissemination/Platon%205%2003%2009/Articles%20Portugal/A12\\_gestaoenergia.pdf](http://labnet.dgc.dk/public/BISON/4%20WP%20development/WP7%20dissemination/Platon%205%2003%2009/Articles%20Portugal/A12_gestaoenergia.pdf)>. Acesso em: 3 de Outubro de 2011.

MONTEIRO, José Venâncio de Freitas. Da Silva, José Roberto Nunes Moreira. O Gás Natural: Aplicado à Indústria e ao Grande Comércio. Editora Edgard Blücher Ltda. COMGAS Natural, 2010, São Paulo.

SULGÁS, 2011. Disponível em: < [www.sulgas.rs.gov.br](http://www.sulgas.rs.gov.br)>. Acesso em: 3 de Outubro de 2011.